

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)
(43)

07-024579
27.01.1995

(51)

B23K 10/00
H01L 21/304
H01L 21/3065
H05H 1/32

(21)

05-153547

(1)

I N R KENKYUSHO:KK

(22)

24.06.1993

(2)

INOUE KIYOSHI

(54) METHOD FOR PLASMA MACHINING

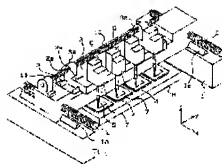
(5)

4

5

4

2



(11) 特許出願公開番号

(43)公開日 平成7年(1995)1月27日

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 7 頁) 最終頁に続く

(74)代理人 弁護士 最上 正太郎

【特許請求の範囲】

【請求項1】電極と被加工体を対向せしめ両者間に電圧を印加してプラズマを発生させ、そのプラズマを用いて被加工体に所望の加工を行うプラズマ加工方法に於いて、電極として細線状、又は、鋭利なピンポイント若しくは鋭いエッジを有する電極を用い、その細線状電極、又は電極のピンポイント若しくはエッジを、微小間隔を介して被加工体の加工部位に対向させ、その対向部位に所望の加工ガスを供給し、かつ電極と被加工体の相対位置を数値制御しつつ、電極と被加工体の間に高電圧を印加して局部的なプラズマを発生させ、その局部的プラズマを被加工部に接触させ、所望の加工を施すことを特徴とする上記のプラズマ加工方法。

【請求項2】境界中でプラズマ加工を行う請求項1に記載の加工方法。

【請求項3】電極として磁性材を用い、電極を介して電極先端に発生させた境界中で加工を行う請求項2に記載の加工方法。

【請求項4】加工イオン電流を所望の値に制御しながら加工する請求項1乃至3の何れか一に記載の加工方法。

【請求項5】プラズマに加えて熱エネルギー加工も併用する請求項1乃至4の何れか一に記載の加工方法。

【請求項6】F、B、P、As、Ga、Cu、Ni、Pt、Au、Oから成る群の中から選ばれる少なくとも一種の原子を含むガスと、被加工体と反応しないキャリアーガスとから成る加工ガスを用いる請求項1乃至5の何れか一に記載の加工方法。

【請求項7】キャリアーガスが水素である請求項6に記載の加工方法。

【請求項8】キャリアーガスが不活性ガスである請求項6に記載の加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】本発明は、プラズマを利用する各種の微細加工方法、例えば半導体、セラミックス等の絶縁体、強磁性体、高導磁率材、永久磁石材、金属等の各種材料の表面に対する拡散、析出、堆積、薄膜形成等の加工を施す方法、特に工程が簡略で、処理のため多量の洗浄液などを必要とせず、従って、低コストで公害発生の恐れのない新規なプラズマ加工方法に関する。

【0002】従来この種の加工は、大規模な減圧室内で行われ、又、加工工程が多岐にわたっており、その工程毎に多量の洗浄液を必要としている。シリコンLSIの加工を例にとりて従来技術を示せば、先ず、基板上に塗着したレジストフィルムに対して希望パターンを光学的に正確に転写した後、未感光部又は感光部の何れか一方を溶解除去し、レジストフィルム面に耐プラズマ性を有する面層を形成し、耐プラズマ性に乏しい部分をプラズマにより除去し、必要に応じて部分的に析出、拡散加工を施した後、その表面に保護と絶縁のための酸化層を形成して絶縁する。

【0003】この工程では、製品は一つ一つが非列的アナログ的に加工（除去、拡散、析出加工）され、各工程毎に洗浄浄化を繰り返しつつ加工されるものである。即ち、基板を製造するため、素材となる単結晶を10℃クーラーでスライスし、これを切削装置でラッピングし、更にエッチング加工を行うが、その各工程の前後で洗浄、浄化処理が繰り返される。又、これらは無塵室で行われるため、大型で高性能のフィルターを必要とし、このフィルターを通して大量の空気を循環させるため大量のエネルギーが消費されている。

【0004】又更に、洗浄のため、環境に有害なフロンが用いられ、又、水を用いる場合でも、1MΩcmオーダーの高品位の純水を大量に必要とするので、その水処理のため極めて多くのエネルギーと、危険な公害性の高い薬剤が使用されている。

【0005】又、この処理に用いられる装置も極めて高い精度が要求されるが、それらが直列的に利用されるため、各工程毎の誤差が順次重畳累積される結果となり、そのため総合的には要求される精度を得ることが困難である。

【0006】例えば、これらの半導体基板の表面の平坦度は、局部的にはnmオーダー、基板全体では0.1μmオーダーとすることが要求されているが、現在の方式ではいずれもμmオーダーが限界である。これ以上の精度を要求すれば、コストが飛躍的に増大し、実用的なコストで大量の製品を供給することが不可能となるのでこのオーダーで利用されている。特に多層微細型LSIの場合に於いてはこの精度が問題となっているが、現在この問題の完全な解決法は提案されていない。

【0007】本発明は以上の問題点を解決するためなされたものであり、本発明によるときは、イオン、ラジカルを任意に使い分け、極めて単純な工程で、かつ、最少の洗浄工程で、金属、セラミックス、半導体、プラスチックその他の物質を任意に加工することができるものである。

【0008】荒加工にはイオン、多価イオン、混合イオンを、微細加工にはラジカルを用いて、加工ガスの噴流と境界によるサイクロトロン作用を利用してプラズマ加工をするが、いずれの場合でも加工される部位及び範囲が正確に制御されるので、高い精度で加工が可能となり、更にイオン放電による析出や、析出したものを基板内部に拡散させる等々任意の加工が可能となる。従来はかかる加工（除去、析出、拡散）に於いては、基板材料は多岐に渡る複雑な工程を必要としていた。

【0009】本発明は、線状電極、針状電極等を用い、それらを小型の無塵チャンバー内で基板に対向させ、両者の相対位置を二次元的又は三次元的にNC制御すると共に、その電極と基板の間に加工ガスを供給しつつ高電圧を印加して、極微小領域に限定されたプラズマを発生させ、そのプラズマにより基板表面の物質除去、拡散、

析出等の加工をするようにするものである。尚、プラズマによる加工と共に、熱拡散や電磁波照射拡散等も併用して差し支えない。

【0010】 而して、加工に必要なエネルギー量を、例えばプラズマ電流や発生音等を利用して計測し、制御する。このようにすると、製造中の様子が一リアルタイムで判定できるので、NCによる電極位置のデジタル制御が可能となる。

【0011】 このように、本発明では、プラズマ電流などをパラメータとしてプラズマエネルギーを制御しつつ、電極と被加工体との相対位置を制御し、単一の工程で析出、除去、拡散等の加工を行うものである。

【0012】 電極としては、さまざまな形状寸法のワイヤー型やニードル型等の電極が用いられる。それらの電極は自動電極交換装置により用途に応じて適宜に組み合わせられ、使用される。又、加工の目的に応じて、電極先端と被加工体の間に加工に必要な加工ガスを供給するように構成する。

【0013】 又更に、マイクロウェーブ、超短波、パルス等による加熱加工手段を併用することが推奨される。高周波電界（遊射）では陰や電子が拘束されて歪みを生じるので、これを加工のため有効に利用することができる。一般的には μs 以下の半波長しくはパルスを利用することが推奨される。

【0014】 マイクロウェーブ、超短波等に於いては、プラズマ発生と同調させ、加工部分近くに配置した電極に電力を供給し、プラズマを限定部分のみに発生させるようにして、プラズマの位置を制御しつつ所望の加工目的を達成する。この場合の制御は音響学的に行うこと、即ち、加工に伴って発生する超音波を検出し、そのスペクトル分析を行い、その結果に基づいて加工状況を判定し、プラズマ電圧や加工速度を制御することが推奨される。

【0015】 又、パルス電圧を用いて加工する場合は、電極近くでパルス電磁界によって部分プラズマを発生させ、そのときのプラズマエネルギーを充分に制御しつつ加工を行わせ、同時にプラズマより生じたイオン、ラジカルを利用するものである。

【0016】 マイクロウェーブ、超短波、パルスと共に電圧に比例した反応イオン、ラジカルを生じるので、その電力を測定すれば、それらによる加工量を知ることができる。又、それらの加工量は、加工直後に発生する電子の密度を測定して判定することができるものである。又、マクロ的には、電磁波の反射を検知することにより加工処理面を検出することも可能である。

【0017】 又、本発明方法を実施する場合は、加工ガスとしてハロゲン化合物を用い、ハロゲンプラズマを発生させ、その高い反応性を利用することが推奨される。又更に、加工雰囲気中のプラズマ組成粒子のミーンフリーパスを制御し、これを一定の範囲に保ち、これによりプ

ラズマより生じたイオン、イオンクラスター、ラジカル、ラジカルクラスターの有効領域を確実に制御する。

【0018】 又、ドリフトを制御するため、プラズマ生成エネルギーを制御しつつ、プラズマと被加工体の相対位置をNC制御し、前述の音響学的手段、光学的手段、電磁的手段等によりその加工状態を正確に判定し、 μm オーダーの（結晶的、原子的）浄化面を得るようにする。このようにすれば、任意の材料の加工が可能となり、あらゆる微細加工を精密に行い得るようになる。

【0019】 又、必要な部分にプラズマを集束するために、磁界との相互作用を利用することが望ましい。このため、電極自体を磁極として利用してサイクロトロン集束を行わせることが推奨される。又、プラズマ電流と共に、供給する反応ガス（主としてハロゲン化合物）の流量を正確に制御することにより、容易に加工の目的を達成し得る。

【0020】 このように本発明は、線状、板状、針状等の鋭利なピンポイント又は鋭いエッジを有する電極を用い、その被加工体と対向する鋭利なピンポイント又は鋭いエッジの部分にプラズマを発生させ、被加工面に直接に作用させ、被加工体を二次元的又は三次元的に成形加工することができるようにするものである。

【0021】 一つの分子（含ハロゲン）を分解して、反応基を加工作物固体の近くに生成すれば、その反応基と被加工体の位置関係によって加工が行われるので、プラズマの有効領域によって加工精度が定まる。従って高精度で加工を行うためには、基板の表面からプラズマ組成粒子の平均自由行程 λ の範囲内に反応基を生成しなければならない。平均自由行程 λ は、プラズマ組成粒子の質量と粘度（温度）とが一定であれば、その圧力に逆比例するものである。

【0022】 本発明に於いては、比較的低真空で加工ガスを供給し、プラズマ組成粒子の平均自由行程 λ を短くし、その代わりに、先鋭な電極を使用すると共に、高電圧を印加して極めて微小な範囲にプラズマを発生させ、これを被加工面に接触させ、プラズマ加工を行うものである。例えば、加工ガスとして SF_6 を用い、 Si を加えた場合には、 $\text{SF}_6 + 1.5 \text{ Si} = \text{S} + 1.5 \text{ SiF}_6$ となり、 Si が除去されることになる。

【0023】 勿論、 CF_4 を用いても同様な加工を行うことができる。又、電圧を高くすればより高度でイオン加工を施すことができる。更に本発明の重要な特徴の一つは、一般のFプラズマ中のイオン若しくは中性子の平均線速度 10^{10} m/s 程度であり、従って、相当の高速度で加工が進行することである。

【0024】 又、本発明の一実施例に於いては、磁界中でプラズマを発生させ、これを加工に利用する。そのため、電極内にはそのホルダーを強磁性体又は高導磁率材料で製造し、これらを励磁してプラズマ発生領域に強い

境界を発生させる。然るときは、初めに放出された電子がイオンと衝突してプラズマを発生するとき、電子はマイクロトン作用を受け、自励動を生じて反応を安定に保つ。

【0025】1KG程度の境界をかけ、イオン密度を $10^{10} \sim 10^{11} / \text{cm}^3$ に保持すると、プラズマの形状、寸法が正確に保たれ、高速、高精度で加工することができるようになる。被加工面のイオン発生源より遠い位置にある部分は、イオンの入射角が小さくなるので、一定の範囲外では反応が微弱となり、余分な加工が進行しないようになる。

【0026】イオンの入射エネルギーを適切に制御すれば、そのレベルに応じて、スパッター加工（デポジション析出）や除去加工が実行でき、更に、拡散、加熱加工をすることができるものである。そして、入射エネルギーを正確に制御すれば、加工量、除去量を正確に制御できるので、被加工面に供給されるエネルギーとそこから放出されるエネルギーが均衡する場合には、原料に全く歪を与えらることなく加工することを得るものである。

【0027】加工に利用されるガスは、H₂、Ar等の不活性ガス、又は、H₂をキャリアーガスとし、これに

F、B、P、As、Ga、Cu、Ni、Pt、Au、Oから成る群の中から選ばれる少なくとも一種の原子を含むガス、例えば、CF₄、BF₃、NF₃、SF₆、CCl₄、Cl₂F₂、HF、HCl、O₂、O₃等の加工ガスを混合したものである。

【0028】拡散加工用としては、遷移系のB₂H₆、BF₃等が用いられ、析出拡散用としては、PH₃、AsH₃、NH₃等が用いられ、更に用途に応じて、SiH₄、B₂H₆、SiH₄Cl₂、SO₂H₂、N₂O、NF₃、テトラヒドロプロキシタン、ヘキサフルオロアセチルアセト酸（C₂（HFA）₂）、Cu（PPM）₂、Cu（ACAC）、Si（OC₂H₅）₄などが用いられる。

【0029】以下、図面により本発明の実施に用いる装置、実施方法等について説明する。図1は本発明に係るプラズマ加工方法を実施する装置の主要部の構成例を示す斜視図、図2はワイヤ電極装置の一例を示す断面図、図3はピンポイント電極装置の一例を示す断面図、図4は、ワイヤ電極の周囲に発生させたプラズマを用いて半導体の表面をスクラビングし、研磨する状態を示す説明図、図5は図4に示した加工工程中に溝加工を施す方法を示す説明図である。

【0030】図1に示した装置は、図示されていない無塵の加工室内に他の付属装置、即ち電極自動交換装置、加工ガス供給装置、電源装置などと共に設置されており、その加工室内には更に発生ガスの排出、回収装置、被加工体の搬入、搬出装置、などが付設されており、且つ加工室内部には、所望の組成、圧力及び温度を有する加工ガスが満たされている。

【0031】図中、1、1はX軸に平行に設けられた一対の主柄、2は一対の主柄1、1上にそれぞれ設けた案内1a、1aに載せられ、X軸方向にスライドし得る横柄、3は横柄2の上に設けた一対の案内2a、2aの上に載せられY軸方向にスライドし得るテーブル、4、4はそれぞれ所望の電極5、5を保持する電極ユニット、6、6はテーブル3の上に整列して設けられ電極ユニット5、5を昇降自在に保持する電極ユニット取付カラム、7、7は半導体等の被加工体、8は被加工体7、7を取り付ける作業テーブル、9、9は横柄2、2をX軸方向に加工送りする送りねじ、10はテーブル3をY軸方向に加工送りする送りねじ、11は送りねじ10の一端を支持するプランマブロックである。

【0032】一対の主柄1、1は加工室に設けた基台の上面に、相対してX軸に平行に設けられる。主柄1、1の上にはそれぞれスライドガイド1a、1aが設けられており、その上に横柄2が搭載され、横柄2は同軸して回転する一対の送りねじ9、9によりX軸方向に加工送りされる。

【0033】横柄2の上面には、一対のスライガイド2a、2aがY軸に平行に設けられており、それら一対のスライガイド2a、2aの上にはテーブル3が設けられ、テーブル3は送りねじ10によりY軸方向に加工送りされている。テーブル3の幅縁部には、複数の電極ユニット取付カラム6、6が設けられており、各電極ユニット取付カラム6、6にはそれぞれ電極ユニット4、4が昇降自在、昇降自在に取付けられている。

【0034】尚、送りねじ9、9を支持するプランマブロックおよびそれらを回転せしめるモーター、並びに、送りねじ10の駆動モーター及び駆動モーター側のプランマブロック等は図を簡略にするため省略されている。電極ユニットの構成例は、図2及び3に示されている。

【0035】図2に示したものは、細いワイヤ電極を用いるものである。図中、21はケーシング、22はワイヤ電極、23及び24は電極22の端部を保持するコレットである。ケーシング21は上部に開口を有する筒状の主体部にて、取付用シャンク部兼ガス供給管接続部21aを設け、更に電極コレット231、241を取り付けるためのねじ孔を設けて成る。

【0036】取付用シャンク部兼ガス供給管接続部21aは、図1に示した電極ユニット取付カラム6に設けた溝31aに挿入され、機械的に保持されると共に、加工ガス供給部に接続される。一対の電極コレット231、241は同軸に設けられており、その内部に電極22が挿通され、コレットサット232、242で締め付けられて、電極22を保持する。233及び243は束力用の締付コレットである。

【0037】又、一方のコレット242は一方が締付用サット部24a、他の方が受電用ターボジョイント部24bとなっており、装置が電極ユニット取付カラム6に取

付けられたときは、そのコラムに設けたソケットに接続され、給電を受けられるように構成されている。

【0038】図3に示したユニットは、ペンシル状のピンポイント電極を使用するものである。図中、31は下部ケーシング、32は上部ケーシング、33はキャップ、34は電極、35はコネクタ、36はソケット、37及び38はスプリング、39は高導電率材料から成るコレット操作臂、40は励磁コイル、41はソケットである。下部ケーシング31は取付用シャック部兼ガス供給管接続部31aを有し、且つコレット35の下端が挿通される孔31bと、その孔31bの周囲に配置された複数のガス噴出孔31cとを有する。

【0039】コレット35は操作臂39により操作され、電極34は必要に応じて必要とだけ押し出され、図示されていない装置によりその先端が研磨される。この装置が電極ユニット取付コラム6に取付けられたときは、前記のコレットと同様にガス源及び電源に接続される。これらの電極ユニットは、電極交換装置に多数ストックされており、制御コンピュータの指令に応じて適宜に取り出され、電極ユニット取付コラム6に装着される。

【0040】再び図1に戻ると、横筋2及びテーパー3を加工する送りねじ及び10は、中央制御コンピュータの指令により回転し、横筋2及びテーパー3に所望の加工送りを与え、又、電極ユニット取付コラム6、6は同じく中央制御コンピュータの指令により電極ユニット4、4を昇降せしめ、かつ中央制御コンピュータは更に電極ユニットに供給するプラズマ発生用の電力、加工ガスの組成及び供給量、磁界発生用の電力を制御し、被加工体7、7に所望の加工を施すものである。

【0041】

【実施例】以下、上記の装置を用いて、加工を施す例を示す。CF₄ガスを容積濃度で4%含有し、残部がArガスから成る加工ガスを、0.3mmφのピノノ線を加工用電極とし、100MHz、3Aの電流を流して、Si基板に表面除去加工を施した。

【0042】加工面は正方形で、加工面積は3cm²、電流密度は1A/cm²であった。ワイヤ電極を1mm/minの速度で、被加工面に沿って往復移動させたとき、CF₄、H₂プラズマ化され、F⁻が発生し、毎分0.23mgの除去加工がなされた。これは0.1mm³/minの加工量に相当する。この加工方法は、穿孔加工、溝加工、面の仕上げ加工に利用できるものである。又、加工ガスをO₂に替へ、上記同様な条件で処理を施すとSi基板表面に酸化膜を形成することができる。

【0043】又、加工ガスの組成と、プラズマの被加工面に対する電極の相対位置と、プラズマエネルギーの制御レベルを適切に選択すれば、上記の装置を用いてイオン、ラジカルの形成、穿孔加工を行うことができ、除去と同量の析出が可能となり、除去された成分は、キャリアーガスによって排出、回収することができる。

【0044】一般的には、10eV以下で析出加工が行わ

れ、100eV以上程度では拡散加工が可能となり、K₂CO₃では除去加工ができるようになる。従って、電極自動交換装置により適切な電極を自動交換しつつ、これらの加工条件を適切に切替え、連続的に所望の加工を施すことにより、半導体基板上に所望の集積回路を形成することが可能である。

【0045】電極を移動させながら行った実施例について説明を加える。尚、実験結果の測定が不十分な部分についてはコンピュータシミュレーションによって補っている。

【0046】比抵抗10⁻⁶Ω・cmのSi材に対して、表面荒さ1μmRmaxにダイヤモンド加工した端面を持った材料を18μmφの純粋で洗浄処理し、乾燥を兼ねた2表面に30mg程度のSiO₂層を形成し、無塵加工室内で、0.5mm以下の無塵純Ar気流中に挿し、このSi材料を制御装置により側面チャックで固定して種々加工を施した。ピノノ線は、0.5mmφ、抗張力120kg/mm²の純化材(99.99%)を利用し、2mm/minで移動させた。

【0047】このワイヤー側面をルビゲイデスで支え、15kgの張力を掛けて張った。加工ガスの圧力を0.9~1.2atmの範囲内で変化できるように構成し、その制御系の応答特定数を0.3secとした。プラズマ電源としては、100W~1000MHzの高周波電源とし、パルス幅0.2μs~0.8μs、ピーク電圧800Vのパルス電源を用いた。パルスの繰り返し周波数をkHzとし、供給ガスは流量を制御した。又、ブローを設けて、使用済の排気を排出処理するように構成した。

【0048】ガスの供給側と排気側の間にシャッターをつけて開閉できるようにした。さらに、音感源としてピーク電流30Aで4KΩのバリス管昇降装置を用いた。又、流れを超音波を用いて検出し、強度と周波数を異にした数カ所の超音波音管内に、基準ガスと加工ガスを別々に供給し、その吸収スペクトルを比較して加工室内の加工ガスの組成と分圧を判定すると共に、プラズマ発生部分に供給されるガス中にも、超音波を照射しそのドップラー効果によって流速を検出する装置を設けた。

【0049】プラズマ電流の変化、加工に伴って発生する超音波を検出し、加工間隔を制御すると共に、供給ガスの組成、圧力及び流量を制御できるようにする各成分ガスの供給源に流量制御用のフラップバルブを設け、これらをコンピュータ制御した。

【0050】図4は、ピノノ線の両端に発生させたプラズマを用いて半導体の表面をスクラビングし、研磨する状態を示す説明図である。容積濃度15%のCF₄と、残部Arから成る1000HPaの加工ガスで、100Wの電器結合器を制御して電力を供給し、約0.5mmφのピノノ線の両方に幅約0.1mmのプラズマを発生させた。

【0051】Si基板とこのワイヤー電力の間隔を0.05mmに保持しつつ相対的に3mm/minの速度で加工送りして、Si基板表面を0.1μmRmaxの表面荒さに仕上げる

ことができた。更に、同じ条件で、パルス幅 $0.5\ \mu\text{s}$ のハルスを使用して加工したと同様の結果が得られた。又、図5は、ピアノ線をその周囲に発生させたプラズマを用いて半導体の表面をスクライビングし、研磨する過程で溝加工を施す方法を示す説明図である。

【0052】前述の如くして、Si基板表面を研磨する過程で、電極回りを5秒間停止すると深さ 0.15mm の溝加工を行うことができる。但し、この場合、電極と基板表面の間隙を 0.08mm とした。更に、同じ条件で、パルス幅 $0.5\ \mu\text{s}$ のハルスを使用して加工したと同様の結果が得られた。

【0053】上記と同様にして、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CBN 、ダイヤモンド、WC等々の単独若しくは複合体を加工することが可能である。又、ポリテトラフルオロエチレンの表面にトリメチルボロン層を形成することが可能である。この場合、トリメチルボロン 3% 、残部Arガスから成る加工ガスを用いて、テトラフルオロエチレンの表面をプラズマ処理する。このように処理した面をエポキシ接着剤を用いて鉄板に接着した結果、 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ の接着強度が得られた。

【0054】

【発明の効果】本発明は、棒状電極等により局部的にプラズマを発生させ、更に必要に応じて磁界によってプラズマを制御し、このプラズマを被加工体原子に作用させて、各種加工を行うものであり、加工ガス及び放電条件

を選択、制御することにより、被加工体に連続的に、除去、析出、拡散加工を繰り返し行うことが可能となる。このため、製造工程が極めて単純となり、コストが低下し、かつ発熱発生のある素材の使用量を大幅に削減できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るプラズマ加工方法を実施する装置の主要部の構成例を示す斜視図である。

【図2】ワイヤ電極装置の一例を示す断面図である。

【図3】ピンポイント電極装置の一例を示す断面図である。

【図4】ワイヤ電極の周囲に発生させたプラズマを用いて半導体の表面をスクライビングし、研磨する状態を示す説明図である。

【図5】図4に示した加工工程中に溝加工を施す方法を示す説明図である。

【記号の説明】1、1・・・主桁

2、・・・横桁

3、・・・スライドテーブル

4、4・・・電極ユニット

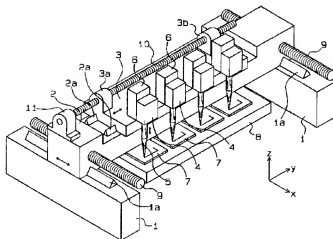
5、5・・・電極

6、6・・・電極ユニット取付カラム

7、7・・・被加工体

8、8・・・作業テーブル

【図1】



(19) Japanese Patent Office (JP)

(12) Publication of Unexamined Patent Application (A)

(11) Laid-Open No.: Hei 7-24579

(43) Laid-Open Date: January 27, 1995

(51) Int. Cl. ⁸	Discrimination Mark	JPO file number	FI	Indication of Technology
B 23 K 10/00	502	A		8315-4E
		B		8315-4E
H 01 L 21/304	321	Z		
21/3065				
			H 01 L 21/302	C

Request of Examination: not requested

The Number of Claims: 8 OL (7 pages in total)

Continued on the last page

(21) Application No.: Hei 5-153547

(22) Application Date: June 24, 1993

(71) Applicant: 390012612

SANYO Electric Co., Ltd.

100-1, Sakado, Takatsu-ku, Kawasaki-shi, KANAGAWA

(72) Inventor: Kiyoshi INOUE

c/o SANYO Electric Co., Ltd.

3-16-7, Kamiyoga, Setagaya-ku, Tokyo

(74) Agent: Patent Attorney: Syotaro MOGAMI

(54) [Title of the Invention] Plasma Processing method

(57) [ABSTRACT]

[Object] To provide a novel low-cost plasma processing method which particularly includes simple steps, does not require a large amount of cleaning solution for the processing, and is secure from pollution.

[Constitution] Linear electrodes, needle electrodes, or the like are used to be opposed to substrates in a small dust-free chamber, the relative position between the two is subjected to two-dimensional or three dimensional NC control, and plasma limited to a micro region is generated by applying a high voltage while supplying a processing gas between the electrodes and the substrates, in order to be able to carry out processing such as removal, diffusion, or

precipitation of substances on the substrate surface with the use of the plasma.

[Advantageous Effect] The very simple apparatus allows the surface of, for example, various materials such as semiconductors, insulators such as ceramics, ferromagnets, high magnetic permeability materials, permanent magnet materials, and metals to be subjected to processing such as diffusion, deposition, sintering, and thin film formation by utilizing plasma.

[Scope of Claims]

[Claim 1] A plasma processing method in which an electrode and an object to be processed are opposed to each other, a voltage is applied between the both to generate plasma, the plasma is used to apply desired processing to the object to be process, characterized in that a narrow-line electrode or an electrode with a sharp pinpoint or a sharp edge is used as the electrode, the narrow-line electrode or the pinpoint or edge of the electrode is opposed to a site to be processed of the object to be processed with a small distance therebetween, a high voltage is applied between the electrode and the object to be processed to generate local plasma, while supplying desired processing gas to the opposed site and carrying out numerical control the relative position between the electrode and the object to be processed, the local plasma is brought into contact with the object to be processed to apply the desired processing.

[Claim 2] The processing method according to claim 1, wherein the plasma processing is carried out in a magnetic field.

[Claim 3] The processing method according to claim 2, wherein a magnetic material is used as the electrode, and the processing is carried out in a magnetic field generated at the tip of the electrode via the electrode.

[Claim 4] The processing method according to any one of claims 1 to 3, wherein the processing is carried out while controlling a processing ion current to a desired value.

[Claim 5] The processing method according to any one of claims 1 to 4, wherein thermal energy processing is also used in combination with plasma.

[Claim 6] The processing method according to any one of claims 1 to 5, wherein a processing gas is used which is composed of a gas including at least one atom selected from the group consisting of F, B, P, As, Ga, Cu, Ni, Pt, Au, and O and of a carrier gas unreactive with the object to be processed.

[Claim 7] The processing method according to claim 6, wherein the carrier gas is hydrogen.

[Claim 8] The processing method according to claim 6, wherein the carrier gas is an

inert gas.

[Detailed Description of the Invention]

[0001] The present invention relates to various types of microfabrication methods using plasma, for example, a method for applying processing such as diffusion, deposition, sintering, and thin film formation, to various materials such as semiconductors, insulators such as ceramics, ferromagnets, high magnetic permeability materials, permanent magnet materials, and metals, and a novel low-cost plasma processing method which particularly includes simple steps, does not require a large amount of cleaning solution for the processing, and is secure from pollution.

[0002] Conventionally, this type of processing is carried out in a large-scale decompression chamber, and involves a wide variety of process steps, which require a large amount of cleaning solution for each step. To give processing of silicon LSI as an example, first, a desired pattern is optically transferred precisely to a resist film coating on a substrate, either the nonphotosensitive portion or the sensitive portion is then removed by dissolving, a plasma-resistant image is formed on the resist film surface, the portion with less resistance to plasma is removed by plasma, deposition or diffusion processing is partially applied, if necessary, and an oxide layer for surface protection and electrical insulation is then formed to provide electrical isolation.

[0003] In this process, products are subjected to processing (removal, diffusion, deposition processing) one by one in a parallel and analog manner, while repeating cleaning for each step. More specifically, in order to manufacture a substrate, a single crystal as a material is sliced with an ID cutter, wrapped in a cutting fluid, and further subjected to etching, while cleaning processing is repeated before or after each step. Further, since these steps are carried out in a clean room, a large high-performance filter is required, through which a large deal of energy is consumed for circulating a large amount of air.

[0004] Moreover, for the purpose of cleaning, environmentally harmful chlorofluorocarbon is used, or alternatively, even in the case of using water, a large amount of high-grade pure water on the order of 1 M Ω cm is required. Thus, the water treatment uses a fairly large deal of energy and highly pollution-triggered hazardous drugs.

[0005] Furthermore, the apparatuses for use in this processing also require substantially high precisions. However, the use of apparatuses in a series manner results in sequential accumulation of errors for each step. Therefore, it is eventually difficult to obtain the desired precisions.

[0006] For example, the surfaces of these semiconductor substrates are required to have flatness on the order of nm locally, and on the order of 0.1 μm for the entire substrate. However, current methods all have limits on the order of μm . If higher precisions are required, the cost will be dramatically increased, which will make it impossible to supply an enormous amount of products at practical cost. Thus, this order is employed. In particular, in the case of multiply-stacked LSI, the precision is problematic, and methods for completely solving this problem with the precision have not been proposed so far.

[0007] The present invention has been made in order to solve the above-mentioned problem, and according to the present invention, metals, ceramics, semiconductors, plastics, and other materials can be optionally processed by optionally using ions and radicals with a minimum number of cleaning steps in accordance with a quite simple process.

[0008] With the use of ions, multivalent ions, or mixed ions for rough processing, or of radicals for microfabrication, a cyclotron effect generated by jet of the processing gas and a magnetic field is utilized to carry out plasma processing. In each case, the site and range to be processed is precisely controlled, thereby allowing processing with high precision, and further optional processing such as precipitation with ion discharge or diffusion of the precipitation into the inside of a substrate. Conventionally, in such processing (removal, precipitation, diffusion), the substrate materials have required a wide variety of complex steps.

[0009] In the present invention, linear electrodes, needle electrodes, or the like are used to be opposed to substrates in a small dust-free chamber, the relative position between the two is subjected to two-dimensional or three dimensional NC control, and plasma limited to a micro region is generated by applying a high voltage while supplying a processing gas between the electrodes and the substrates, in order to carry out processing such as removal, diffusion, or precipitation of substances on the substrate surface with the use of the plasma. It is to be noted that thermal diffusion, electromagnetic radiation diffusion, or the like may be used in combination of the processing with the plasma.

[0010] Thus, the amount of energy required for the processing is measured and controlled with the use of plasma current, generated sound, or the like. This allows NC digital control of the electrode positions because the condition during manufacture can be determined in real time.

[0011] As described above, in the present invention, the relative position between electrodes and objects to be processed controlled while controlling plasma energy with plasma current as

a parameter, and processing such as precipitation, removal diffusion is carried out in a single step.

[0012] As the electrodes, electrodes of various geometries are used such as wire electrodes and needle electrodes. Those electrodes are appropriately combined by an automatic electrode changer depending on the application, and used. In addition, the electrodes are configured such that a processing gas required for the processing is supplied between the tips of electrodes and the object to be processed, in accordance with the purpose of the processing.

[0013] Furthermore, it is recommended to combine means of thermal processing with microwaves, ultrashort waves, pulses, or the like. In high frequency electric field (magnetic field), nuclei or electrons are restrained to cause strain, which can be effectively used for the processing. In general, it is recommended to use a half wave or pulse of 1 μ s or less.

[0014] Desired processing is achieved while controlling the position of plasma in such a way that, with microwaves, ultrashort waves, or the like brought in sync with plasma generation, power is supplied to an electrode disposed near a portion to be processed to generate plasma only for a limited portion. It is recommended that the control in this case is acoustically exercised, more specifically, ultrasonic waves generated with the processing are detected and subjected to spectral analysis, and the progress of the processing is determined based on the results to control the plasma voltage and the processing rate.

[0015] In addition, in the case of processing with the use of a pulse voltage, partial plasma is generated near an electrode by a pulsed electromagnetic field, processing is carried out while adequately controlling the plasma energy during the partial plasma generation, while ions and radicals generated by the plasma are utilized.

[0016] Since microwaves, ultrashort waves, pulses all generate reactive ions or radicals in proportional to the power, the measurement of the power allows the amount of processing with the reactive ions or radicals to be obtained. In addition, the amount of processing can be determined by measuring the electron density generated immediately after the processing. Further, from a macroscopic point of view, it is also possible to detect a surface to be processed by detecting reflection of electromagnetic waves.

[0017] In the case of putting the method according to the present invention into practice, it is recommended that halogen plasma is generated with the use of a halide as the processing gas to utilize the high reactivity of the halogen plasma. Further, the mean free path of particles of the plasma composition in the processing atmosphere is controlled to be kept within a

certain definite range, thereby ensuring the control of the effective region for ions, ion clusters, radicals, and radical clusters generated by the plasma.

[0018] Furthermore, in order to control the drift, the relative position between the plasma and an object to be processed is subjected to NC control while controlling the plasma generation energy, and the state of the object being processed is precisely determined by the acoustic means, optical means, electromagnetic means, or the like to obtain a (crystallographically or atomically) cleaned surface on the order of micrometers. This allows for processing of any material, and thus allows for all types of microfabrication with precision.

[0019] Furthermore, in order to focus the plasma on a portion which needs the plasma, it is desirable to utilize the interaction between the magnetic field and the plasma. Therefore, it is recommended that the electrode itself is used as a magnetic pole to carryout cyclotron focusing. Further, the processing can be easily achieved by precisely controlling the plasma current as well as the flow rate of the supplied reactive gas (mainly a halide).

[0020] As described above, in the present embodiment, an electrode with a sharp pinpoint or a sharp edge in a shape such as a line, a plate, or a needle is used to generate plasma over the sharp pinpoint or sharp edge opposed to an object to be processed, and thus lead the plasma to act directly on a surface to be processed, thereby allowing the object to be processed to be subjected to a two-dimensional or three-dimensional molding process.

[0021] When one molecule (including halogen) is decomposed to generate a reactive group near a solid object to be processed, processing is carried out depending on the positional relationship between the reactive group and the object to be processed. Therefore, the processing accuracy is determined depending on the effective region of the plasma. In order to carry out the processing with high accuracy, the reactive group has to be generated within the mean free path L of particles of the plasma composition from the surface of the substrate. The mean free path L is inversely proportional to the pressure as long as the mass and velocity of the particles of the plasma composition are kept constant.

[0022] In the present invention, plasma processing is carried out in such a way that plasma is generated in a microscopic area supplying the processing gas in relatively rough vacuum to reduce the mean free path L of particles of the plasma composition while using a sharp electrode and applying a high voltage, is brought into contact a surface to be processed. For example, when SF_6 is used as the processing gas to process Si, the Si will be removed following $\text{SF}_6 + 1.5\text{Si} = \text{S} + 1.5\text{SF}_6$.

[0023] Of course, CF_4 can also be used to carry out similar processing. In addition, ion processing can be applied at a higher speed with the voltage increased. Further, one of important features of the present invention is that the average particle density of ions or neutrons in general F plasma is on the order of $10^{16}/\text{m}^3$, and is thus that the processing proceeds at considerably high speed.

[0024] Further, in an embodiment of the present invention, plasma is generated in a magnetic field, and utilize for processing. Therefore, the electrode or its holder is manufactured from a ferromagnetic or high permeability material, and excited to generate a strong magnetic field in a plasma generation region. Then, when initially emitted electrons collide with ions to generate plasma, the electrons will be subjected to cyclotron effect to circulate for keeping the reaction stable.

[0025] When a magnetic field on the order of 1KG is applied to keep the ion density at 10^9 to $10^{20}/\text{m}^3$, the shape and size of the plasma will be precisely maintained, thereby allowing for processing at high speed and with high accuracy. Since the incident angle of ions is small in a portion of the surface to be processed further apart from the ion generating source, the reaction proceeds weakly outside a certain range so that no excess processing proceeds.

[0026] When the incidence energy of ions is appropriately controlled, in accordance with the level thereof, processing for sputtering (deposition) or removal can be carried out, and diffusion or thermal processing can be further carried out. Then, when the incidence energy is precisely controlled, the amount of processing and the amount of removal can be precisely controlled. Thus, in the case where a balance is maintained between the energy supplied to the surface to be processed and the energy emitted therefrom, the processing can proceed without causing any strain in the material at all.

[0027] The gas used for the processing is a mixed gas including: an inert gas such as He or Ar, or H_2 as a carrier gas; and a gas containing at least one atom selected from the group consisting of F, B, P, As, Ga, Cu, Ni, Pt, Au and O, for example, a processing gas such as CF_4 , BF_3 , NF_3 , SF_6 , OCl_4 , Cl_2F_2 , HF , HCl , O_2 , or O_3 .

[0028] A boron-based gas such as B_2H_6 or BF_3 is used for diffusional processing, and PH_3 , AsH_3 , BH_3 , or the like is used for depositional diffusion. Further, depending on applications, SiH_4 , NH_3 , SiH_2Cl_2 , SO_2H_6 , N_2O , NF_3 , tetraisopropoxytitanium, hexafluoroacetyl-acetoneto, $\text{Cu}(\text{HFA})_2$, $\text{Cu}(\text{PPM})_2$, $\text{Cu}(\text{ACAC})$, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, and the like are used.

[0029] An apparatus, a method and the like for use in the practice of the present invention will be described below with reference to the drawings. FIG. 1 is a perspective view illustrating

a configuration example of a main part of an apparatus for carrying out a plasma processing method according to the present invention, FIG. 2 is a cross-sectional view illustrating an example of a wire electrode arrangement, FIG. 3 is a cross-sectional view illustrating an example of a pinpoint electrode arrangement, FIG. 4 is an illustration showing a state in which plasma generated around a wire electrode is used to apply scribing to the surface of a semiconductor for polishing, and FIG. 5 is an illustration showing a method for applying grooving processing during the processing step shown in FIG. 4.

[0030] The apparatus shown in FIG. 1 is placed in a clean processing room which is not shown in the figure, together with other accessory apparatuses, that is, an automatic electrode exchanger, a processing gas supplier, a power supply, and the like, the processing room is further provided with an apparatus for discharging and collecting generated gases, an apparatus for loading and unloading objects to be processed, and the like, and the inside of the processing room is filled with a processing gas which has a desired composition, pressure and temperature.

[0031] In the figure, reference numerals 1, 1 denote main girders provided in parallel with the x axis; 2 denotes a cross beam placed on guides 1a, 1a each provided on the pair of main girders 1, 1 and slidable in the x axis; 3 denotes a table placed on a pair of guides 2a, 2a provided on the cross beam 2 and slidable in the y axis; 4, 4 each denote electrode units for elevatingly holding desired electrodes 5, 5; 6, 6 denote electrode unit mounting columns provided in an alignment manner on the table 3 to hold the electrode units 5, 5; 7, 7 denote object to be processed such as semiconductors; 8 denotes a working table on which the objects to be processed 7, 7 are mounted; 9, 9 denote feed screws for feeding the cross beam 2, 2 in the X axis direction; 10 denotes a feed screw for feeding the table 3 in the Y axis direction; 11 denotes a plunger block for supporting one end of the feed screw 10.

[0032] The pair of main girders 1, 1 are provided on a base provided in the processing room to be opposed to each other in parallel with the X axis. The slide guides 1a, 1a are each provided on the upper surfaces of the main girders 1, 1, with the cross beam 2 mounted on the slide guides 1a, 1a so that the cross beam 2 is fed by the pair of feed screws 9, 9 rotating in synchronization with each other.

[0033] The pair of slide guides 2a, 2a are provided in parallel with the Y axis on the upper surface of the cross beam 2, with the table provided on the pair of slide guides 2a, 2a, so that the table 3 is fed by the feed screw 10 in the Y axis direction. The table 3 has an edge

provided with the plurality of electrode unit mounting columns 6, 6 to which the electrode unit 4, 4 are detachably and elevatingly attached.

[0034] It is to be noted plunger blocks for supporting the feed screws 9, 9, a motor for rotating the plunger blocks, as well as a drive motor for the feed screw 10 and a plunger block on the side of the drive motor, and the like are omitted for the sake of shorthand.

Configuration examples of the electrode unit are shown in FIGS. 2 and 3.

[0035] The electrode unit shown in FIG. 2 uses a thin wire electrode. In the figure, reference numerals 21, 22, and 23 and 24 denote a casing, a wire electrode, and collets for gripping edges of the electrode 22. The casing 21 has a bowl-shaped main body with an opening at the bottom, which is provided with an amounting shank and gas supply line connection 21a and further screw holes for mounting electrode collets 231, 241.

[0036] The mounting shank and gas supply line connection 21a is inserted into a socket provided in the electrode unit mounting column 6 so as to be mechanically held, and connected to the processing gas supply source. The pair of electrode collets 231, 241 are concentrically provided, into which the electrode 22 is inserted, and clamped with collet nuts 232, 242 to hold the electrode 22. Reference numerals 233 and 24 denote clamp nuts for tension.

[0037] In addition, the collet 242 has a hexagon cap nut 24a for clamping and a tapered jack 24b for receiving power, which is configured so that the collet 242 can be connected to the socket provided in the column to receive power when the unit is mounted on the electrode unit mounting column 6.

[0038] The unit shown in FIG. 3 uses a pencil-shaped pinpoint electrode. In the figure, reference numerals 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 and 38, 39, 40, and 41 denote a lower casing, an upper casing, a cap, an electrode, a collet, a socket, springs, a collet operation tube composed of a high-permeability material, an exciting coil, and a socket. The lower casing has an amounting shank and gas supply line connection 31a, and has a hole 31b into which the lower end of a collet 35 is inserted and a plurality of gas blow holes 31c arranged around the hole 31b.

[0039] The collet 35 is operated with the operation tube 39, and the electrode 34 is extruded by a required length if necessary, and has the tip polished by an apparatus which is not shown in the figure. The unit, when mounted on the electrode unit mounting column 6, is connected to a gas source and a power source in the same as for the unit described above. These electrode units are numerously stoked in the electrode exchanger, and appropriately

taken out in accordance with a command from a control computer and mounted on the electrode unit mounting column 6.

[0040] Returning to FIG. 1 again, the feed screws 9 and 10 for feeding the cross beam and the table 3 are rotated to feed the cross beam 2 and the table 3 desirably in accordance with commands from a central control computer, whereas the electrode unit mounting columns 6 moves up or down the electrode units 4, 4 also in accordance with commands from the central control computer, and the central control computer further controls the power for plasma generation, which is to be supplied to the electrode units, the composition and supply of the processing gas, and the power for magnetic field generation, in order to apply desired processing to the objects 7,7 to be processed.

[0041]

[Embodiment] An example of processing with the use of the apparatus described above will be described below. The surface of a Si substrate was subjected to surface removal processing by applying a 3A current 100 MHz with the use of a processing gas containing 4% CF_4 gas per unit volume and Ar gas as the rest, and a 0.3 mmφ piano wire as an electrode to be processed.

[0042] The surface to be processed was square and had a $3cm^2$ area to be processed, the current density was $1A/cm^2$. When the wire electrode was reciprocated at a speed of 1m/min along the surface to be processed, plasma with CF_4H is generated to generate F[•], resulting in removal processing 0.23 mg per minute. This corresponds to the amount of processing of 0.1 mm/min. This processing method can be utilized for perforation processing, grooving processing, and finish processing. Alternatively, when the processing is carried out under similar conditions described above with the processing gas replaced with O_2 , an oxide layer can be formed on the surface of a Si substrate.

[0043] Appropriate selection of the composition of the processing gas, the relative position of the electrode to the surface to be processed by plasma, and the control level of the plasma energy allows diffusion processing or deposition of ions or radicals with the use of the apparatus described above, resulting in the same amount of deposition as the removal, and the removed components can be discharged and collected with the carrier gas.

[0044] In general, the deposition processing is carried out at 10 eV or less, the diffusion processing can be carried out on the order of 100 eV or more, and the processing for removal can be carried out on the order of KeV. Thus, desired integrated circuits can be formed on semiconductor substrates by appropriately switching these processing conditions and

continuously carrying out desired processing while automatically changing the electrode appropriately by the automatic electrode exchanger.

[0045] The embodiment carried out while moving the electrode will be further described. It is to be noted that computer simulation compensates insufficient measurements in the experimental result.

[0046] For a Si material with a specific resistance of $10\ \Omega\text{cm}$, a material with an edge face subjected to diamond processing to a surface roughness of $1\ \mu\text{m}$ was subjected to cleaning with pure water of $18\ \mu\Omega$, a SiO_2 layer on the order of $30\ \text{nm}$ was formed on the 2 surface also for drying, and the Si material was inserted into in a clean pure Ar flow of $0.5/\text{m}^3$ or less in the clean processing room, and secured with a side chuck with the use of a moving apparatus to carry out various types of processing. For the piano wire, a $0.5\ \text{mm}$ purified material (99.99 %) with a tensile strength of $120\text{kg}/\text{mm}^2$ was used, and moved at $2\ \text{m}/\text{min}$.

[0047] This wire was supported on the sides thereof by ruby dice, and tensioned with a tension of 15kg applied. The pressure of the processing gas is controlled to range from 0.9 to $1.2\ \text{atm}$, with the response specific number of the control system made to be $0.3\ \text{sec}$. As the power supply for plasma, a high-frequency power supply from $100\ \text{W}$ to $100\ \text{MHz}$ and a pulsed power supply with a pulse width of $0.2\ \mu\text{s}$ to $0.8\ \mu\text{s}$ and a peak voltage of $800\ \text{V}$ were used. The pulse recurrence frequency was made to be kHz , and the total amount of the supply gas was controlled. Furthermore, a blower is provided to discharge used exhaust stream.

[0048] An openable and closable shutter was provided between the gas supply side and the exhaust stream side. Further, a pulse magnetic field generator with 4Koe at a peak current of 30A was used as a magnetic power supply. Furthermore, the flow was detected with the use of ultrasonic waves, the reference gas and the processing gas were separately supplied into several ultrasonic fields with difference intensities and frequencies from each other, their absorption spectra are compared to determine the composition and partial pressure the processing gas in the processing room. In addition, also in the gas supplied into the area of plasma generation, an apparatus was provided for detecting the flow rate by using the Doppler effect of emitted ultrasonic waves.

[0049] The change in plasma current and the ultrasonic waves generated with processing were detected to control the processing gap. Further, in order to allow control of the composition, pressure, flow rate of the supply gas, the supply source for each component gas was provided with a flapper nozzle for flow rate control, which was controlled by the computer.

[0050] FIG. 4 is an illustration showing a state in which plasma generated around a piano wire is used to apply scribing to the surface of a semiconductor for polishing. In a 1000 HP processing gas containing 4.5% CF₄ per unit volume and Ar gas as the rest, a 100 W condenser coupler was controlled to supply power and then generate about 0.1 mm wide plasma around an about 0.5 mmφ piano wire.

[0051] While keeping the gap between the Si substrate and the wire power at 0.05 mm, the Si substrate is fed relatively at a speed of 3mm/min to allow the surface of the Si substrate to be finished with a surface roughness of 0.1 μRmax. Further, under the same condition, pulses with a pulse width of 0.5 μs were used for processing to obtain the same result. FIG. 5 is an illustration showing a method for applying grooving processing in the process of using plasma generated around a piano wire to apply scribing to the surface of a semiconductor for polishing.

[0052] As described above, in the process of polishing the surface of the Si substrate, processing for 0.15 mm deep grooving can be carried out when the electrode feeding is stopped for 5 seconds. However, in this case, the gap between the electrode and the substrate surface was made to be 0.08 mm. Further, under the same condition, pulses with a pulse width of 0.5 μs were used for processing to obtain the same result.

[0053] In the same way as described above, SiO₂, Al₂O₃, CBN, diamond, and WC can be processed individually, or composites thereof can be processed. Further, a trimethylboron layer can be formed on the surface of polytetrafluoroethylene. In this case, a processing gas containing 3% trimethylboron and Ar gas as the rest is used to subject the surface of tetrafluoroethylene to plasma processing. The thus processed surface bonded to an iron sheet with an epoxy adhesive resulted in a bond strength of 210kgf/cm².

[0054]

[Advantageous Effects of the Invention] In the present invention, plasma is locally generated with the use of linear electrodes or the like, and further, the plasma is controlled by a magnetic field, if necessary, and directed to act on atoms of objects to be processed to carry out various types of processing. The selection and control of the processing gas and discharge condition allows objects to be processed to be continuously subjected to removal, deposition, or diffusion processing. Therefore, the present invention has advantageous effects that the manufacturing process is significantly simplified, the cost is reduced, and the amounts used of pollution-causing materials can be substantially reduced.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] a perspective view illustrating a configuration example of a main part of an apparatus for carrying out a plasma processing method according to the present invention

[FIG. 2] a cross-sectional view illustrating an example of a wire electrode arrangement

[FIG. 3] a cross-sectional view illustrating an example of a pinpoint electrode arrangement

[FIG. 4] an illustration showing a state in which plasma generated around a wire electrode is used to apply scribing to the surface of a semiconductor for polishing

[FIG. 5] an illustration showing a method for applying grooving processing during the processing step shown in FIG. 4

[Explanation of the Reference Numerals and Signs] 1, 1 main girder

- 2 cross beam
- 3 slide table
- 4, 4 electrode unit
- 5, 5 electrode
- 6, 6 electrode unit mounting column
- 7, 7 object to be processed
- 8, 8 working table

Continued from the front page

(51) Int. Cl.⁶ Discrimination Mark

JPO file number FI

Indication of Technology

H 05 H 1/32

9014-2G